

Interferometer type measurement device employs single optical fibre to illuminate and receive reflected light from surface measured

Publication number: DE10057539

Publication date: 2002-05-23

Inventor: DRABAREK PAWEL (DE)

Applicant: BOSCH GMBH ROBERT (DE)

Classification:

- International: **G01B9/02; G01B9/02**; (IPC1-7): G01B9/02; G01B11/24; G01B11/30

- European: G01B9/02F

Application number: DE20001057539 20001120

Priority number(s): DE20001057539 20001120

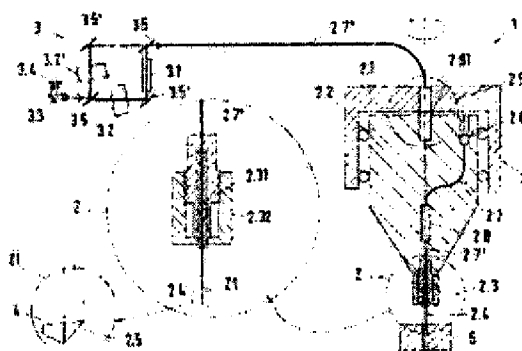
Also published as:

U S6741355 (B2)
U S2002109847 (A1)
G B2373853 (A)
N L1019392C (C2)

[Report a data error here](#)

Abstract of DE10057539

The device has a rotating probe section (2.2) which terminates in a measurement head (2.3). From the end of the head a very thin (15m) measurement optical fibre (2.4) projects into a cylindrical bore of the object measured. Light from a light source (2.6) in the rotating section passes through a beam splitter (2.31) to provide reference and measurement beams. The end (2.5) of the measurement fibre is designed to illuminate the measured bore section and receive the reflected light from that section.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 57 539 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:
G 01 B 9/02
G 01 B 11/30
G 01 B 11/24

②① Aktenzeichen: 100 57 539.0
②② Anmeldetag: 20. 11. 2000
④③ Offenlegungstag: 23. 5. 2002

DE 100 57 539 A 1

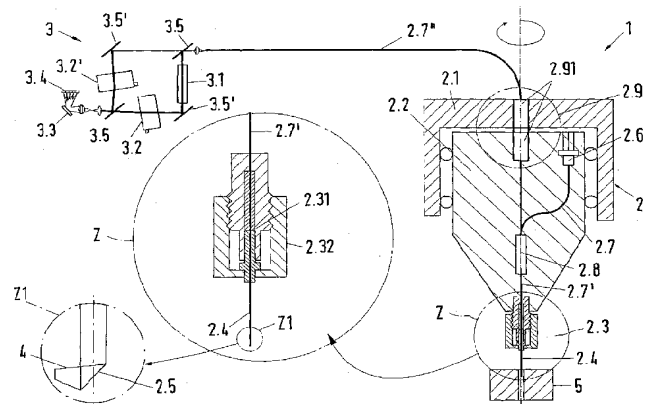
⑦① Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:
Drabarek, Pawel, Dr., 75233 Tiefenbronn, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Interferometrische Messvorrichtung

⑤⑦ Die Erfindung bezieht sich auf eine interferometrische Messvorrichtung zum Messen von Oberflächenkenngrößen, Formen, Abständen und Abstandsänderungen, z. B. Schwingungen, insbesondere in engen Hohlräumen, von Messobjekten (5) mit einem Sondenteil (2) und mit einer optischen Faser. Eine Oberflächenvermessung auch in sehr feinen Bohrungen wird dadurch ermöglicht, dass die optische Faser in einem Messkopf (2.3) an dem das Messobjekt (5) anfahren den freien Ende des Sondenteils (2) vorsteht und selbst als Messfaser (2.4) zum Beleuchten einer Messstelle und Aufnehmen von von dieser kommenden Messlicht (4) ausgebildet ist (Fig.).



DE 100 57 539 A 1

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Interferometrische Messvorrichtung zum Messen von Oberflächenkenngrößen, Formen, Abständen und Abstandsänderungen, z. B. Schwingungen, insbesondere in engen Hohlräumen, von Messobjekten mit einem Sondenteil und mit einer optischen Faser.

[0002] Eine derartige interferometrische Messvorrichtung ist in der DE 198 08 273 A1 als bekannt ausgewiesen. Bei dieser bekannten Messvorrichtung wird in dem interferometrischen Messsystem mittels Kohärenz-Multiplex das optische System der Messvorrichtung auf zwei Subsysteme aufgeteilt, nämlich ein so bezeichnetes Modulations-Interferometer und einen Sondenteil. Der Sondenteil ist auf diese Weise gut handhabbar und weist einen Messkopf auf, mit dem auch Messungen in relativ langen, engen Bohrungen möglich sind. Die Messvorrichtung ist für eine Mehrwellenlängeninterferometrie ausgelegt, so dass eine Messbereichserweiterung erzielt wird. Es gibt allerdings so eng dimensionierte Bohrungen, dass auch ein derartiger Messkopf nicht mehr eingesetzt werden kann.

[0003] Bei einer in der DE 198 19 762 A1 gezeigten weiteren interferometrischen Messvorrichtung dieser Art sind verschiedene raumsparende Messsonden für das Messsystem vorgeschlagen.

[0004] Die EP 0 126 475 zeigt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum berührungsfreien Messen der Ist-Positionen und/oder des Profils rauher Oberflächen, das auf dem Konzept eines Mehrwellenlängen-Heterodyn-Interferometers basiert und als Lichtquelle ein oder mehrere Laser beinhaltet. Die Heterodyntechnik ermöglicht es, auf der Grundlage der Phasenauswertung Messfehler weitgehend zu unterdrücken.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine interferometrische Messvorrichtung der eingangs angegebenen Art bereit zu stellen, mit der Messungen auch in noch engeren Hohlräumen, z. B. unterhalb von einem Millimeter, wie sie bei Einspritzdüsen vorkommen, möglichst genau durchführen zu können.

[0006] Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Hiernach ist vorgesehen, dass die optische Faser in einem Messkopf an dem das Messobjekt anfahren den freien Ende des Sondenteils vorsteht und selbst als Messfaser zum Beleuchten einer Messstelle und Aufnehmen von von dieser kommenden Messlicht ausgebildet ist. Die Messfaser, deren Durchmesser z. B. im Bereich von kleiner 100 µm liegt, kann mit ihrem freien Ende in sehr dünne Bohrungen eingefahren werden und den zu messenden Oberflächenbereich beleuchten und von dort Licht empfangen, um es zu einer an sich bekannten, insbesondere nach dem Prinzip der Phasenauswertung, arbeitenden Auswerteinrichtung weiter zu leiten.

[0007] Für eine genaue Beleuchtung und Erfassung des Messlichts sind dabei die Maßnahmen vorteilhaft, dass der freie Endbereich der Messfaser zum Beleuchten einer Messstelle und Aufnehmen des Messlichts entsprechend der Messaufgabe ausgebildet ist.

[0008] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen zum Erzielen eines genauen Messergebnisses bestehen darin, dass der freie Endbereich poliert, mit einer Blende versehen, als Linse oder Prisma ausgebildet, gegen störendes Reflexlicht behandelt, abgeschrägt, verspiegelt, entspiegelt oder mit einer Kombination dieser Maßnahmen versehen ist.

[0009] Eine feine Bearbeitung des Endbereichs der Messfaser ergibt sich dadurch, dass der freie Endbereich zur Strahlformung oder Strahllenkung mit einem Klebetröpfen versehen und/oder aufgeraut ist.

[0010] Eine weitere vorteilhafte Maßnahme für die Lichtleitung und Auswertung besteht darin, dass die Messfaser eine monomode Faser ist.

[0011] Verschiedene Ausgestaltungsmöglichkeiten ergeben sich dadurch, dass der Aufbau des Interferometers einem klassischen Interferometer, einem Weißlichtinterferometer oder einem Heterodyninterferometer entspricht. Bei der Weißlichtinterferometrie wird eine kurzkohärente, breitbandige Lichtquelle, z. B. eine Superlumineszenzdiode oder ähnliche Lichtquelle verwendet und das Maximum des Interferenzkontrasts ausgewertet, wie an sich bekannt.

[0012] Interferometer der genannten Art sind im übrigen in den eingangs genannten Druckschriften näher beschrieben. Klassische Interferometer sind an sich ebenfalls weit verbreitet.

[0013] Eine Messbereichserweiterung, d. h. eine Vergrößerung des Eindeutigkeitsbereichs wird vorteilhaft z. B. dadurch erzielt, dass das Interferometer zur Erweiterung des Messbereichs als Mehrwellenlängeninterferometer ausgebildet ist. Zur Vorgehensweise im Einzelnen sei ebenfalls auf den eingangs erwähnten Stand der Technik verwiesen.

[0014] Ist vorgesehen, dass der Messfaser in dem Sondenteil ein Faserstück vorgeschaltet ist und dass die Trennfläche zwischen dem Faserstück und der Messfaser als Strahlteiler-Fläche zum Bilden einer reflektierten Referenzwelle und einer durchgelassenen Messwelle ausgenutzt ist, so sind die Messfasern leicht auswechselbar und der Messkopf für unterschiedliche Messaufgaben ausrüstbar. Gleichzeitig wird die Trennfläche günstig ausgenutzt für den interferometrischen Aufbau, so daß z. B. keine zusätzliche reflektierende Fläche für den Referenzstrahl erforderlich ist. Für einen einfachen Aufbau ist dabei die Massnahme vorteilhaft, dass die Verbindung zwischen der Messfaser und dem Faserstück als Faserstecker ausgebildet ist.

[0015] Für eine einfache Handhabung der Messvorrichtung ist des Weiteren eine Ausgestaltung vorteilhaft, bei der vorgesehen ist, dass zum Beleuchten eine kurzkohärente Lichtquelle in einem von dem Sondenteil entfernten und mit diesem über eine Lichtleitfaser verbundenen Modulationsinterferometer oder in dem Sondenteil angeordnet ist, das dann über eine Lichtleitfaser mit einem entfernten Demodulationsinterferometer verbunden ist, und dass die Kohärenzlänge der Lichtquelle kürzer ist als eine halbe Differenz eines Lichtweges einer Referenzwelle und eines Lichtwegs einer Messwelle.

[0016] Bei Aufteilung in Sondenteil und Demodulationsinterferometer ist dabei ein Aufbau in der Weise günstig, dass das Licht der Lichtquelle über eine weitere Lichtleitfaser und über einen Faser-Strahlteiler in das Faserstück geführt und aus diesem nach Beleuchten der Messstelle in die Lichtleitfaser geführt wird.

[0017] Ist des Weiteren vorgesehen, dass der Sondenteil einen feststehenden Sondenteil und einen in diesem drehbar gelagerten rotierbaren Sondenteil mit dem Messkopf aufweist, so kann auf einfache Weise eine Rundummessung durchgeführt werden.

[0018] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert.

[0019] Die Figur zeigt eine interferometrische Messvorrichtung 1 mit einem Sondenteil 2 und einem davon entfernten, über eine Lichtleitfaser 2.7" angeschlossenen Demodulationsinterferometer. Der Sondenteil weist einen feststehenden Sondenteil 2.1 und einen daran drehbar gelagerten rotierbaren Sondenteil 2.2 auf, der an seinem vorderen, einem Messobjekt 5 zugekehrten Bereich als Messkopf 2.3 ausgebildet ist.

[0020] Der Messkopf 2.3 ist an seinem in eine enge Boh-

rung des Messobjekts **5** einführbaren Endbereich mit einer dünnen, als Messfaser **2.4** ausgebildeten Lichtleitfaser versehen, die z. B. einen Durchmesser von 125 µm aufweist und mittels einer Faserkupplung **2.32** mit einem Faserstück **2.7'** des Sondenteils **2** gekoppelt ist. Wie in der Detaildarstellung **Z** genauer ersichtlich, ergibt sich an der Koppelstelle zwischen der Messfaser **2.4** und dem Faserstück **2.7'** eine Trennfläche, die als Strahlteiler-Fläche **2.31** ausgebildet ist, und zum Erzeugen einer daran reflektierten Referenzwelle und einer durchgehenden Messwelle genutzt wird.

[0021] Der freie Endbereich der Messfaser **2.4** ist, wie aus der Detaildarstellung **Z1** ersichtlich, als Endstück **2.5** zum Beleuchten einer Messstelle des Messobjektes **5** und Aufnehmen von reflektiertem Messlicht **4** ausgebildet, und zwar vorliegend abgeschrägt und verspiegelt. Wie einleitend erwähnt, kommen jedoch auch andere Maßnahmen zur Gestaltung des Endstücks **2.5** und Anpassung an unterschiedliche Messaufgaben in Frage.

[0022] In dem Sondenteil **2** ist des Weiteren eine kurzkohärente Lichtquelle **2.6** angeordnet, mit der ein Kohärenz-Multiplex erzielt wird, um eine störungsfreie Übertragung der Messwelle und der Referenzwelle zwischen dem Sondenteil **2** und dem Demodulations-Interferometer **3** zu erzielen. Das Licht der kurzkohärenten Lichtquelle **2.6**, wie z. B. einer Superlumineszenzdiode, wird über eine weitere Lichtleitfaser **2.7** geführt und mittels eines Faser-Strahlteilers **2.8** in das Faserstück **2.7'** und von dort in die Messfaser **2.4** geleitet. Das von der Messstelle zurück kommende Licht durchläuft wiederum den Faser-Strahlteiler **2.8** und wird von dort in die weitere Lichtleitfaser **2.7''** über einen optischen Koppler **2.9** im Bereich der Drehlagerung und weiteren optischen Elementen in Form von GRIN (Graduate-Index)-Linsen **2.91** geführt.

[0023] Das Demodulations-Interferometer umfaßt, ähnlich wie die Modulationsinterferometer in den eingangs genannten Druckschriften, ein Verzögerungselement **3.1**, Modulatoren **3.1**, **3.2'**, z. B. akustooptische Modulatoren, ein Spektralelement **3.3**, eine Photodetektoranordnung **3.4** und Lichtlenkelemente **3.5**, **3.5'**.

[0024] Das Licht der kurzkohärenten Lichtquelle **2.6** wird in die vorzugsweise monomode Lichtleitfaser **2.7** eingekoppelt und gelangt über den Faser-Strahlteiler **2.8** zu der Strahlteiler-Fläche **2.31**, in der es in die Messwelle und die Referenzwelle aufgeteilt wird. Die Referenzwelle wird zurück in das Faserstück **2.7'** eingekoppelt und über den optischen Koppler **2.9** in das Demodulations-Interferometer **3** geführt. Die Messwelle wird auf der Messfaser **2.4**, deren Ende unter einem Winkel von z. B. 45° Grad geschliffen und verspiegelt ist, ausgekoppelt und beleuchtet die zu vermessende Innenwand einer kleinen Bohrung mit einem Durchmesser von z. B. 200 µm, wobei die Messfaser **2.4** einen Durchmesser von z. B. 125 µm hat. Das von der Wand reflektierte Messlicht **4** wird über die Messfaser **2.4**, den Faser-Strahlteiler **2.8** und dem optischen Koppler **2.9** in das Demodulations-Interferometer **3** eingekoppelt und mit der Referenzwelle überlagert. Die beiden Wellen können dabei nicht interferieren, da die Kohärenzlänge der Lichtquelle **2.6** kürzer als die Hälfte des optischen Weges in der Messfaser ist.

[0025] Das Demodulations-Interferometer **3** ist z. B. nach dem Prinzip eines Mach-Zehnder-Interferometers aufgebaut. In dem Demodulations-Interferometer wird das Licht auf zwei Strahlen aufgeteilt. In einem Arm des Demodulations-Interferometers wird das Verzögerungselement **1**, z. B. eine planparallele Glasplatte, eingesetzt, das die Differenz der optischen Wege beider Teilstrahlen, die im Messkopf **2.3** erzwungen wurde, zurücksetzt. Die beiden Lichtstrahlen werden mit Hilfe der Modulatoren **2** gegenseitig in der Fre-

quenz verschoben. Die Frequenzdifferenz beträgt z. B. einige kHz. Die beiden interferenzfähigen Teilstrahlen werden in dem Strahlteiler **3.5** überlagert, ausgekoppelt, mit Hilfe des Spektralelements **3.3**, z. B. einem Gitter oder Prisma oder Filter, in mehrere Farben (Wellenlängen: λ_1 , λ_2 , ... λ_n) zerlegt und auf die Photodetektoranordnung **4** fokussiert. Jeder Photodetektor liefert ein elektrisches Signal mit der durch die Modulatoren **2** erzeugten Differenzfrequenz und einer Phase $\Delta\phi$, die mit der Messgröße ΔL (Abstand zum Messobjekt **5**) und der zugehörigen Wellenlänge λ_n zusammenhängt: $\Delta\phi = (2 \cdot \pi / \lambda_n) \cdot \Delta L$.

[0026] Durch die Vermessung der Phasendifferenzen der Signale mehrerer Detektoren (Mehrwellenlängen-Heterodyn-Interferometrie) läßt sich der Abstand ΔL zur Innenwand der Bohrung, der größer als einzelne Lichtwellen sein darf, eindeutig bestimmen.

[0027] Die Informationsübertragung vom rotierenden Sondenteils **2.2** zum feststehenden Sondenteil **2.1** wird über den optischen Koppler **2.9** durchgeführt. Der optische Koppler **2.9** kann in Form der zwei gezeigten, an die Faserenden angekoppelten GRIN-Linsen **2.91** ausgeführt werden. Da der optische Koppler **2.9** sich im Lichtweg nach dem Faser-Strahlteiler **2.8** befindet, stören eventuelle kleine Verkippungen oder Verschiebungen beider Sondenteile **2.1**, **2.2** während der Drehung nicht.

[0028] Die eigentliche Messsonde der Messfaser **2.4** ist ein sehr empfindlicher Teil (dünne Faser) und wird auch deswegen als leicht auswechselbares Element in Form eines Steckers (Faserkupplung **2.32**) an den rotierbaren Sondenteil **2.2** montiert.

Patentansprüche

1. Interferometrische Messvorrichtung zum Messen von Oberflächenkenngrößen, Formen, Abständen, Abstandsänderungen, und Schwingungen, insbesondere in engen Hohlräumen, von Messobjekten (**5**) mit einem Sondenteil (**2**) und mit einer optischen Faser, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optische Faser in einem Messkopf (**2.3**) an dem das Messobjekt (**5**) anfahrenenden freien Ende des Sondenteils (**2**) vorsteht und selbst als Messfaser (**2.4**) zum Beleuchten einer Messstelle und Aufnehmen von von dieser kommendem Messlicht (**4**) ausgebildet ist.
2. Messvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der freie Endbereich der Messfaser (**2.4**) zum Beleuchten einer Messstelle und Aufnehmen des Messlichts (**4**) entsprechend der Messaufgabe ausgebildet ist.
3. Messvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der freie Endbereich poliert, mit einer Blende versehen, als Linse oder Prisma ausgebildet, gegen störendes Reflexlicht behandelt, abgeschrägt, verspiegelt, entspiegelt oder mit einer Kombination dieser Maßnahmen versehen ist.
4. Messvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der freie Endbereich zur Strahlformung oder Strahllenkung mit einem Klebetropfen versehen und/oder aufgeraut ist.
5. Messvorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messfaser (**2.4**) eine monomode Faser ist.
6. Messvorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Aufbau des Interferometers einem klassischen Interferometer, einem Weißlichtinterferometer oder einem Heterodyninterferometer entspricht.
7. Messvorrichtung nach Anspruch 6, dadurch ge-

kennzeichnet, dass das Interferometer zur Erweiterung des Messbereichs als Mehrwellenlängeninterferometer ausgebildet ist.

8. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Messfaser (2.4) in dem Sondenteil (2) ein Faserstück (2.7) vorgeschaltet ist und dass die Trennfläche zwischen dem Faserstück (2.7) und der Messfaser (2.4) als Strahlteiler-Fläche zum Bilden einer reflektierten Referenzwelle und einer durchgelassenen Messwelle ausgenutzt ist.

9. Messvorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindung zwischen der Messfaser (2.4) und dem Faserstück (2.7) als Faserstecker (2.32) ausgebildet ist.

10. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet dass zum Beleuchten eine kurzkohärente Lichtquelle (2.6) in einem von dem Sondenteil (2) entfernten und über eine Lichtleitfaser (2.7) verbundenen Modulationsinterferometer oder in dem Sondenteil (2) angeordnet ist, das dann über eine Lichtleitfaser (2.7) mit einem entfernten Demodulationsinterferometer (3) verbunden ist, und

dass die Kohärenzlänge der Lichtquelle (2.6) kürzer ist als eine halbe Differenz eines Lichtweges einer Referenzwelle und eines Lichtwegs einer Messwelle.

11. Messvorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Licht der Lichtquelle (2.6) über eine weitere Lichtleitfaser (2.7) und über einen Faser-Strahlteiler (2.8) in das Faserstück (2.7) geführt und aus diesem nach Beleuchten der Messstelle in die Lichtleitfaser (2.7") geführt wird.

12. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Sondenteil (2) einen feststehenden Sondenteil (2.1) und einen in diesem drehbar gelagerten rotierbaren Sondenteil (2.2) mit dem Messkopf (2.3) aufweist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

